

Genetik og gamle lakseskæl

Genetik

DNA fra gamle lakseskæl har afdækket ny viden om den truede danske laksebestand. Dette kan have stor betydning for forsøgene på at redde den sidste naturlige bestand i Skjern Å og genetablere bestande i andre danske vandløb.



Skjern Å hanlaks i gydedragt.

Laks er en af Danmarks mest truede ferskvandsfisk. Der findes formodentlig kun en naturlig bestand tilbage i Skjern Å, og denne har endda også været udråbt som uddød. Nye metoder til undersøgelser af DNA fra gamle fiske-skæl har imidlertid "genoplivet" Skjern Å's naturlige laksebestand, og har yderligere givet ny værdifuld indsigt i laksens biologi.

Skæl i kassevis

Fiskeskæl har gennem mere end et århundrede været et vigtigt redskab for fiskeribiologer til bestemmelse af fiskens alder og vækst. Dette har medført, at enhver fiskeri-institution med respekt for sig selv har kassevis af gamle skæl fra tidligere undersøgelser opbevaret i kældre og på lofter. Danmarks Fiskeriundersøgelser Afdeling for

Ferskvandsfiskeri i Silkeborg er i den henseende bestemt ingen undtagelse!

Da skællene blev indsamlet var der sikkert ingen, der havde tænkt på, at de kunne anvendes til genetiske undersøgelser, men de sidste tiårs udvikling inden for molekylærbiologi har gjort det muligt for os at udvikle en metode til undersøgelse af DNA (arvemateriale) fra gamle skæl. Sådanne giver populationsgenetikere som os, en enestående mulighed for at "se tilbage i tiden", dvs. undersøge den genetiske sammensætning inden for fiskebestande som den var tidligere og sammenligne disse resultater med, hvad vi observerer i dag. På den måde er vi blevet i stand til at vurdere det sidste århundredes drastiske menneskeskabte miljøændrings indflydelse på mængden og fordelingen af den

genetiske variation. Metoden har været anvendt på en af vore mest truede arter af ferskvandsfisk, den vilde Atlantiske laks (*Salmo salar* L.), som tidligere fandtes i alle større vestjyske vandløb samt Gudenåen.

Genetik og laks

Man har gennem flere hundrede år været klar over, at laks fra forskellige vandløb udviser forskelle i udseende og/eller adfærd, bare spørg sportsfiskerne! Hvorvidt disse forskelle skyldes nedarvede tilpasninger til det lokale miljø, eller blot er et udtryk for miljøets indvirkning på det enkelte individ uden nogen genetisk baggrund (fænotypisk plasticitet), har længe været et stærkt debatteret emne.

For at genetiske tilpasninger kan forekomme kræver det, at der er en høj grad af *reproduktiv isolation* mellem laks fra for-

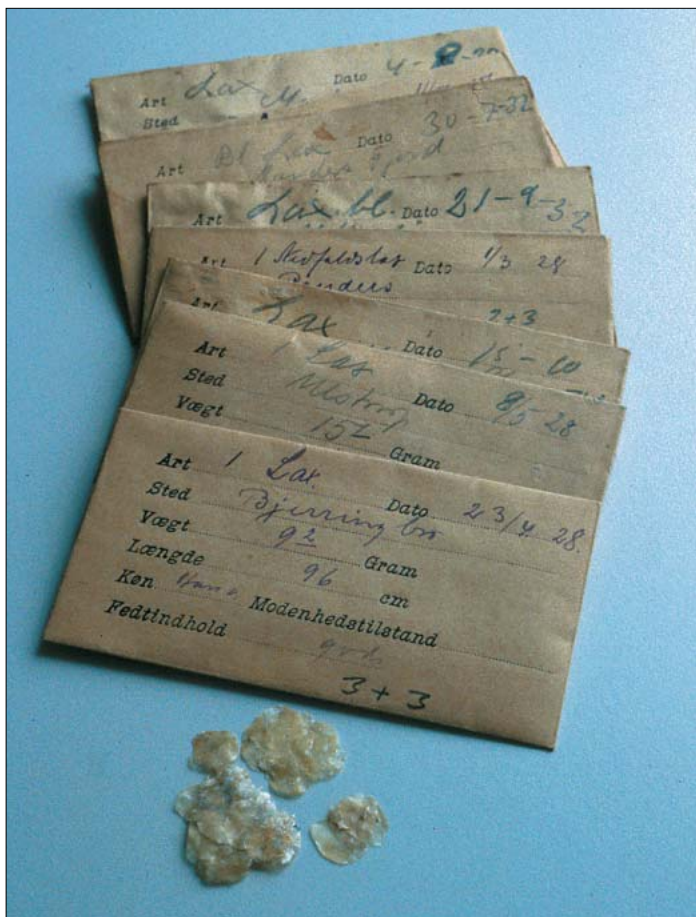
Af Einar Eg Nielsen,
Michael Møller Hansen og
Volker Loeschcke

skellige vandløb – populært sagt, at “blandede ægteskaber” er meget sjældne. Dette kræver igen, at laksens berømte evne til at vende tilbage og gyde i netop det vandløb, hvor den selv kom til verden, er meget effektiv.

De seneste 30 års genetiske undersøgelser har kastet en del lys over, hvorvidt Atlantisk laks er opdelt i reproduktivt isolerede populationer eller “stammer” med deraf følgende mulighed for at finde lokale tilpasninger. Overordnet har man påvist, at der findes tre hovedgrupper af Atlantisk laks; Nordamerikanske-, Europæiske- og Østersø laks, som alle i praksis er (genetisk set) totalt isolerede fra hverandre. Inden for de enkelte hovedgrupper findes der også store genetiske forskelle mellem laks fra forskellige vandløb.

Man har ikke været i stand til at finde en klar sammenhæng mellem genetisk og geografisk afstand mellem bestande fra forskellige vandløb (dvs. jo længere borte jo fjernere beslægtet). Dette har været genstand for stor undren, idet man jo ville forvente flere strejfer til nærtliggende end fjerntliggende vandløb. De genetiske forskelle mellem populationerne peger i retning af, at lokale tilpasninger er meget sandsynlige hos laks, hvilket er påvist hos en del laksebestande. Som eksempel kan nævnes, at laksefisk fra store og hastigt strømmende vandløb generelt er større og har forholdsmæssigt større finner end laks fra små og langsomme vandløb.

Ud over de fysiske tilpasninger har man også fundet forskelle i adfærd. Det drejer sig i denne henseende specielt om forskelle i vandringsadfærd mellem laksefisk fra vandløb, som varierer i udformning, for eksempel i forbindelse med indskudte søer. Denne erkendelse har haft stor indflydelse på forvaltningen af laks globalt, men også lokalt, idet man har ændret udsætningspolitikken fra at udsætte dambrugs eller transplanterede fisk som supplement til en truet bestand, til at anvende “egen avl” af fisk fra den lokale stamme i vandløbet, som



Gamle fiskeskæl giver os en enestående mulighed for at “se tilbage i tiden”.

3) Opstemninger i forbindelse med vandkraftværker og dambrug, da disse spærrer for laksens vandring i vandløbet.

Skjern Å laksen

Ifølge de officielle fiskeristatistikker fra Ringkjøbing Fjord var 1903 det bedste år i laksefiskeriets historie, idet der blev landet 635 laks. Der findes ingen rapportering fra selve Skjern Å, men et meget forsigtigt skøn over den totale fangst ligger således et pænt stykke over tusind voksne laks. Det er derfor sandsynligt, at den samlede bestand af gydefisk i vandløbet på det tidspunkt har været på flere tusinde. Der er ingen grund til at tro, at bestanden før 1903 har været væsentlig mindre.

Fra begyndelsen af århundredeskiftet til 1960'erne mindskedes bestanden. Således viste den officielle fangststatistik for 1964, at der blev fanget 125 laks i Ringkjøbing Fjord. Det vil altså sige, at fangsterne, og sikkert også gydebestanden, var reduceret til 1/5 af niveauet i 1903. Denne tendens fortsatte og bestanden blev reduceret kraftigt gennem 70'erne og 80'erne (figur 2) og nåede et minimum i 1984, hvor der kun registreredes 5 lystfiskerfangede laks og to elektrofiskede voksne gydelaks i hele Skjern Å systemet.

Dette fik en del mennesker til at spekulere på, om laksen i virkeligheden var uddød, og om de enkelte fisk, der hvert år blev registreret, var strejfer fra andre vandløb. Samtidig kunne man jo også forestille sig, at den lille årlige gydebestand havde medført kraftig indavl og tab af genetisk variation i bestanden. En eventuel rest af Skjern Å stammen var derfor ikke nødvendigvis værd at bevare, men muligvis var det nødvendigt at tilføre den “nyt blod” ved at udsætte laks fra andre bestande.

For at få et overblik over Skjern Å laksens genetiske status, var der derfor en række spørgsmål, som man gerne ville have besvaret:

1) Hvordan var den genetiske sammensætning før man

gennem generationer har haft muligheden for at tilpasse sig de lokale miljøforhold.

Laks i Danmark

Da isen forsvandt fra Danmark efter den sidste istid (ca. 10.000 år siden) rekoloniserede laksen de større danske vandløb. I historisk tid har man kendskab til laksebestande i vestjyske vandløb (Vidaæn, Ribe Å, Sneum Å, Varde Å, Skjern Å og

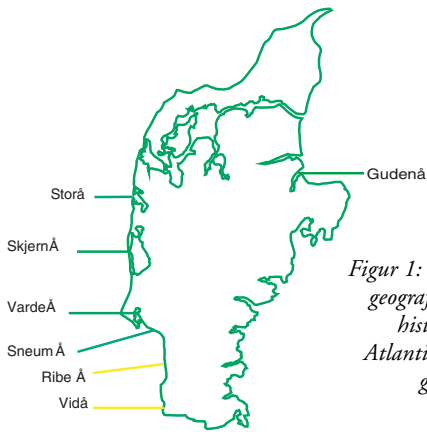
Storåen) og i Gudenå på østkysten (se figur 1). De fleste af disse bestande anses i dag for at være udryddede. Dette skyldes:

- 1) overfiskning,
- 2) den generelle forværring af miljøtilstandene i vore vandløb, da laksen er meget krævende med hensyn til vandkvalitet (såsom ilt og pH) og den fysiske udformning (skjul, gydegrus etc.).

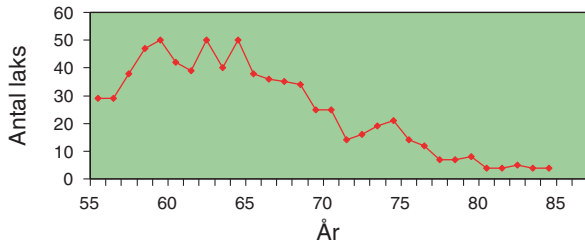
Mikrosatellitter

Mikrosatellitter” er små stykker DNA-sekvens som gentages, typisk 10-50 gange. Det kan f.eks. være en gentaget sekvens af nucleinsyrerne Cytosin og Thymin – dvs. CTCTCTCT- osv. Hos de fleste organismer findes mikrosatellitterne spredt ud over hele genomet – dvs. i det samlede genetiske materiale, der findes i en cellekerne.

DNA i mikrosatellitter koder ikke for noget proteinprodukt og anvendes således (tilsyneladende) ikke til noget i cellerne. Mikrosatellitter har høj mutationsrate i forhold til de fleste kodende regioner af genomet og er derfor meget variable. Forskelle i individuelle mønstre kan identificeres i laboratoriet, og den høje variabilitet har gjort mikrosatellitter til det foretrukne værktøj for mange typer af genetiske undersøgelser, hvor man forsøger at skelne mellem forskellige individer, eller grupper af individer på grundlag af specifikke mønstre i mikrosatellitter. Som eksempel kan nævnes identifikation af individer i kriminalsager, hvor en mistænks mikrosatellit-mønster giver et genetisk “fingeraftryk”.



Figur 1: Kort over Jylland som viser den geografiske placering af vandløb som i historisk tid har haft en bestand af Atlantisk laks. Bestande markeret med gult indgik ikke i undersøgelsen.



Figur 2: Årligt antal lystfiskerfangede laks i Skjern Å fra 1955- 1985.

oplevede den kraftige nedgang i bestanden?

- 2) Har den genetiske sammensætning ændret sig gennem dette århundrede?
- 3) Er den nuværende bestand beslægtet med den oprindelige Skjern Å laks?
- 4) Hvordan er mængden af genetisk variation i den nuværende bestand i forhold til den "gamle"?

DNA fra gamle skæl

For at indhente information om Skjern Å laksens oprindelige genetiske sammensætning var det derfor nødvendigt at udvikle en metode, hvormed man kunne "se tilbage i tiden". I kælderen hos DFU i Silkeborg fandt vi en stor kasse med gamle lakseskæl fra Skjern Å, som var blevet indsamlet af lystfiskere langs åen i 1930'erne og 50'erne og anvendt til at bestemme alder og vækst på laksene. Udenpå disse skæl findes der en tynd indtørret hinde af slim og hudceller, hvori der findes små mængder stærkt nedbrudt DNA.

Det lykkedes os at udvikle en metode, hvormed man kunne oprense dette DNA og derefter anvende det til analyse af såkaldt mikrosatellit-DNA (se boks). Mikrosatellit-variationen i laks fra 1930'erne og 1950'erne kunne så sammenlignes med laks fra andre vandløb

og fra før udsætningerne af dambrugsfisk begyndte i 1989.

Tidsmæssig udvikling

Resultaterne af den genetiske analyse viste en forbløffende tidlig stabilitet (figur 3). For det første var der stort set ingen forskel mellem de to indsamlinger af "gamle" fisk (1930'erne, 1950'erne). Det vil altså sige, at den genetiske sammensætning af bestanden var uændret, selvom den var blevet kraftigt reduceret.

Vi kunne også konstatere, at den genetiske sammensætning i bestanden fra 1989 var meget lig sammensætningen i de gamle fisk. Sammenlignet med data fra andre europæiske laksebestande (her repræsenteret ved den svenske Ätran bestand og den skotske bestand fra Conon) viste det sig altså, at de få laks, som svømmede rundt i Skjern Å, med stor sandsynlighed var efterkommere af den oprindelige bestand.

Analyserne viste desuden, at nedgangen i bestanden fra 1930-1950 ikke havde medført nogen målbar ændring i mængden af genetisk variation, mens der var en klar tendens til nedsat genetisk variation i fiskene fra 1989. Der var dog ikke tegn på, at bestanden var indavllet, og der fandtes stadig en mængdevariation. Der var således ingen åbenlys grund til at udsætte "nyt blod" i form af fisk

fra andre stammer, men samtidig skulle man være opmærksom på at undgå yderligere tab af genetisk variation. Dette kunne kun sikres ved at gydebestanden i Skjern Å øgedes ved begrænsninger i fiskeriet og/eller udsætninger og i den forbindelse skulle man sikre at et tilstrækkeligt antal moderfisk blev anvendt i avlen.

Uddøde danske laksebestande

Undersøgelserne af Skjern Å laksen gav os virkelig blod på tanden. Vi havde nu fat i et værktøj som kunne give os svar på spørgsmål, som før havde været umulige at besvare.

1) Var den tidlige stabilitet i den genetiske variation, vi havde fundet for vore prøver fra Skjern Å, et generelt fænomen hos Atlantisk laks? I så fald ville det understøtte hypotesen om, at forskellene på laksestammer fra forskellige vandløb skyldes nedarvede tilpasninger til det lokale miljø, og ikke blot miljøets indvirkning på de enkelte individer uden genetisk baggrund.

2) Hvilken effekt har menneskelige aktiviteter såsom udsætninger og udryddelse eller reduktion af bestande haft på den genetiske struktur? Den mang-

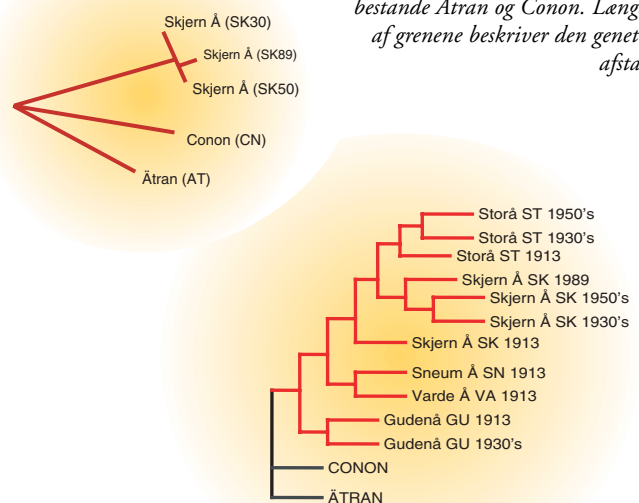
lende sammenhæng mellem genetisk og geografisk afstand kan i princippet skyldes menneskets indvirkning.

3) Før udryddelsen af de fleste danske laksestammer i begyndelsen af dette århundrede, fandtes der da en speciel dansk stamme, eller var de danske indbyrdes lige så forskellige, som de var fra udenlandske?

Vi forsvandt derfor ned i kælderen igen for at rode efter flere skæl fra de nu uddøde danske laksebestande og kontaktede samtidig personer, som vi vidste lå inde med gamle skæl. Efter et stykke tid havde vi fundet gamle skæl fra de fleste danske vandløb, som tidligere husede en bestand af Atlantisk laks. Udover nogle ekstra prøver fra den tidligere omtalte Skjern Å, fandtes prøver fra Gudenå, Storåen, Sneum Å og Varde Å.

Til sammenligning inkluderede vi igen prøver fra udenlandske laks (Conon og Ätran). Resultaterne var temmelig entydige. For de tre vandløb, hvor vi havde prøver fra forskellige tidspunkter, viste det sig, at den genetiske sammensætning stort set ikke havde ændret sig over den givne tidsperiode. Dette er

Figur 3: "Stamtræ" over slægtskabsforholdet mellem de tre tidlige prøver af laks fra Skjern Å og to udenlandske referencebestande Ätran og Conon. Længden af grenene beskriver den genetiske afstand.



Figur 4: "Stamtræ" over eksisterende og uddøde danske laksebestande. Jo tættere to prøver grupperer i træet jo tættere beslægtede er de.

illustreret i figur 4, hvor grupperingen af de forskellige grene i "træet" illustrerer slægtskabet mellem de forskellige "samples/prøver". Man kan også se, at de danske laksestammer dannede én samlet gruppe. Det vil altså sige, at de danske bestande generelt er tættere beslægtede med hinanden end med de udenlandske, dog var Gudenåen-laksen ret forskellig fra bestandene fra den jyske vestkyst, der alle er meget tæt beslægtede. Specielt mellem Skjern- og Storåens laksebestande var den genetiske afstand meget lille. Bemærk også, hvor fint bestandenes gruppering i træet passer med deres geografiske placering (figur 1).

Resultaterne af vore undersøgelser peger altså på, at populationsstrukturen hos laks generelt er meget stabil, og at der derfor er stor sandsynlighed for, at hver stamme kan tilpasse sig individuelle vandløbs fysiske, kemiske og biologiske parametre.

Meget tyder desuden på, at vi via udryddelser og udsætninger har været/er godt på vej til at ødelægge denne stabile struktur, idet vi har ændret det tidligere (naturlige) vandringsmønster mellem stammer, således at vi ikke længere er i stand til at erkende en sammenhæng mellem genetisk og geografisk afstand.

Endelig ser det ud til, at de danske laksebestande på vestkysten af Jylland var ret tæt beslægtede, mens slægtskabet mellem dem og Gudenåenlaksen på østkysten var noget fjernere.

Dette tyder på, at der har været en del "udveksling" mellem bestandene på Vestkysten, og at de måske nærmere har udgjort en samlet evolutionær gruppe med specielle tilpasninger til det "væstjyske" end særskilte enheder med hver deres tilpasninger.

Skjern Å laksens fremtid

Nu har vi beskæftiget os meget med laksens fortid i Danmark, men hvordan tegner fremtiden sig for de danske laksebestande, og hvordan kan vore resultater bidrage til en bedre forvaltning, som kan fjerne den Atlantiske



Foto: Kaare M. Ebert

Einar Nielsen med en hullaks fra Skjern Å fanget ved elektrofiskeri i 1996 og anvendt som moderfisk til opdræt af nye Skjern Å laks.

laks fra "rødlisten" over truede dyrearter?

For Skjern Å laksens vedkommende har bekræftelsen af, at bestanden var oprindelig, bidraget til, at den har opnået en beskyttelse, som er uden sidestykke hos nogen anden fiskebestand i Danmark. Der er indført en lang række fiskerireguleringer i og omkring Skjern Å, som skal sikre tilstrækkeligt med gydelaks i åen, og det er forbudt at udsætte laks som stammer fra andre vandløb.

Der er desuden iværksat et stort retableringsprogram, som bl.a. indbefatter "støtteopdræt", hvor tusindvis af små laks, som er afkom af vilde moderfisk fanget i åen, opdrættes i dambrug og efterfølgende udsættes. Disse tiltag har allerede haft en meget gavnlig effekt på bestandens størrelse.

Laks i andre danske vandløb

Vi er i øjeblikket ved at gennemføre en undersøgelse (baseret på samme princip) af andre store væstjyske vandløb for at klarlægge, om der mod forventning skulle findes oprindelige bestande tilbage, som i lighed med Skjern Å Laksen har overlevet på svagt blus.

Hvis det viser sig, at der virkelig er rester af oprindelige bestande i et eller flere vandløb, skal man naturligvis stoppe udsætninger af laks fra Sverige, Irland og Skotland. I stedet bør

man satse på at give den vilde bestand de bedste muligheder for fortsat overlevelse, da disse gennem flere tusinde år har tilpasset sig vandløbets fysiske og biologiske karakteristika.

Hvis bestandene viser sig at være uddøde, kan man naturligvis forsøge at genskabe naturlige bestande, bl.a. ved hjælp af udsætninger. Man bør dog i fremtiden udskifte udsætninger af de "fremmede" laks med laks transplanteret fra Skjern Å, hvilket der er to gode grunde til.

Først og fremmest er sandsynligheden for, at de er i stand til at klare sig større (da de sikkert er tilpasset lignende miljøforhold).

For det andet skaber man på den måde levende "gen-banker" i andre vandløb, som kan anvendes, hvis den stadig sårbare bestand af laks i Skjern Å skulle uddø som følge af sygdomsudbrud, forureningskatastrofer eller lignende.

En sådan genskabelse af en naturlig laksebestand kræver dog oftest, at der samtidig bliver arbejdet på at forbedre vandløbets kvalitet. De vigtigste problemer er fortsat for ringe gydemuligheder, manglende passage ved opstemninger i forbindelse med vandkraftværker og dambrug, samt alt for kraftigt fiskeri i mange områder. Først når disse problemer er løst, er der basis for at reintrodere laksen. ☺

Om forfatterne:

Einar Eg Nielsen, ph.d. og forsker samt Michael Møller Hansen, ph.d. og seniorforsker er begge fra Danmarks Fiskeriundersøgelser Afdeling for Ferskvandsfiskeri Vejlsovej 39 8600 Silkeborg Tlf.: 33 96 31 00

E-mail: ffi@dfu.min.dk

Professor Volker Loeschcke er fra Aarhus Universitet, Biologisk Institut, Afdeling for Genetik og Økologi Bygning 550, Ny Munkegade, 8000 Århus C

Tlf. 89423230

Hjemmesider:

www.dfu.min.dk/dk/dfu_fr.htm
www.biology.au.dk/genetic.eco/

Læs videre....:

Nielsen, E. E., M. M. Hansen and V. Loeschcke. 1996. Genetic structure of European populations of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) inferred from mitochondrial DNA. *Heredity* 77: 351-358.

1997, Analysis of microsatellite DNA from old scale samples of Atlantic salmon *Salmo salar*: A comparison of genetic composition over 60 years. *Mol. Ecol.* 6: 487-492.

1999, Genetic variation in time and space: Microsatellite analysis of extinct and extant populations of Atlantic salmon. *Evolution*, 53, 261-268.